DIE BRECHUNG UND DISPERSION VON METHAN UND AETHYLEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

VEREINIGTEN FRIEDRICHS-UNIVERSITÄT

HALLE-WITTENBERG

ACAD.
LUND.BAT
BIBL.

VORGELEGT VON

WILHELM KESSLER

AUS MARIENWERDER (WESTPREUSSEN).

HALLE a. S.
HOFBUCHDRUCKEREI VON C. A. KAEMMERER & CO.
1909.

Referent: Geh. Regierungsrat Prof. Dr. **E. Dorn.**

Meiner Mutter

und dem Andenken meines Vaters.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548101_0104

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung 7
Versuchsanordnung 8
Das Untersuchungsmaterial 10
Ableitung der Formeln 13
Der Gang der Untersuchungen 15
Die Ergebnisse 17
Vergleichung der Ergebnisse mit anderen Beobachtungen 27
Theoretische Folgerungen 30

Einleitung.

Zur Bestimmung der Brechungskoeffizienten von Gasen wurden bisher, abgesehen von den Bestimmungen der Brechung der Luft auf astronomischem Wege, zwei wesentlich verschiedene Methoden verwandt: Die eine beruht auf der Ablenkung der Lichtstrahlen durch ein Hohlprisma, das mit dem zu untersuchenden Gase gefüllt wird. Sie wurde verwendet von Biot und Arago, Dulong u. a. Die andere, genauere, Methode stützt sich auf ein Interferenzprinzip: Zwei Lichtbündel, die durch zwei mit dem Gase zu füllende Röhren gegangen sind, werden zur Interferenz gebracht. Ändert man nun den Druck in einer der beiden Röhren, so tritt eine Fransenverschiebung ein, aus der sich die Brechungsexponenten berechnen lassen. Auf diese Weise verfuhren die meisten neueren Beobachter, Ketteler, Mascart, Lorenz u. a.[1]) Während die älteren Bestimmungen des Brechungsvermögens von Gasen fast nur für weisses Licht gemacht wurden, ermöglicht diese Methode auch eine genaue Messung der Dispersion der Gase.

Für die in theoretischer Hinsicht interessante Dispersion der gasförmigen Kohlenwasserstoffe lagen zurzeit noch keine Untersuchungen vor. Auf freundliche Anregung und mit gütiger Unterstützung von Herrn Geh. Regierungsrat Prof.

1) Eine kurze Übersicht über die zurzeit vorliegenden Arbeiten bietet C. Herrmann, Diss. Halle, 1908 und Verh. der Deutsch. Phys. Gesellschaft, Bd. 10, S. 211–216, 1908.

Dr. E. Dorn habe ich deshalb in vorliegender Arbeit die Brechung und Dispersion von Methan und Aethylen untersucht.

Versuchsanordnung.

Die angewandte Methode beruht auf dem Interferenzprinzip. Es ist dieselbe, wie sie bereits von Herrmann[1]) und Ahrberg[2]) zur Bestimmung der Dispersion von Helium und Argon eingeschlagen wurde.

Die Versuchsanordnung ist in Fig. 1 dargestellt.

Von der Lichtquelle L fällt das Licht auf einen feinen, mit einem scharfen Messer in den Belag von Spiegelglas geritzten senkrechten Spalt S, wird hier gebeugt, durch das Objektiv des Fernrohres F_1 parallel gemacht und geht sodann in der unteren Hälfte durch ein Röhrenpaar R_1 R_2, während sich die obere Hälfte ungehindert durch die Luft fortpflanzt. Die getrennten Lichtbündel gehen dann durch die beiden etwa 4 mm breiten Ausschnitte eines Interferenzschirmes I und werden durch das Objektiv des Fernrohres F_2 in der Weise vereinigt, dass zwei Systeme von Interferenzstreifen entstehen, ein oberes und ein unteres, welche durch die Cylinderlinse C betrachtet werden.

Die beiden 300,33 mm langen, zum Schutz gegen Temperaturschwankungen mit Kupferblech umwickelten und in einem mit Stanniol überkleideten Gehäuse befindlichen Röhren R_1 und R_2 sind an den Enden durch zwei planparallele Glasplatten verschlossen. Jede von ihnen steht in Verbindung mit einem Manometer M_1 bezw. M_2 und einer Saletschen Pipette P_1 bezw. P_2. P_1 ist mit dem zu untersuchenden Gase, P_2 mit Luft gefüllt. Der Gaszufluss wird

---

1) C. Herrmann, Diss. Halle, 1908. Verh. der Deutsch. Phys. Gesellschaft, Bd. 10, S. 211, 1908.

2) F. Ahrberg, Diss. Halle, 1909.

durch das Kapillarhahnpaar H_1 bezw. H_2, sowie durch Regulierung des Druckes in der Saletschen Pipette geregelt. Zwischen die Pipette und das Hahnpaar sind beiderseits ein Phosphorpentoxydrohr und ein mit Silberspähnen gefülltes und durch ein Gemisch von Äther und fester Kohlensäure gekühltes Rohr eingeschaltet, um Spuren von Feuchtigkeit, die etwa noch in die Pipette gelangt sind, und Quecksilberdämpfe zurückzuhalten. Bei A ist der Apparat an eine Sprengelpumpe angeschlossen. Gummiverbindungen wurden überall vermieden; sämtliche Teile des Apparates waren miteinander verblasen. Neben den Röhren R_1 und R_2 und den Manometern M_1 und M_2 befindet sich je ein mit dem Normalthermometer verglichenes Thermometer.

Die Untersuchungen wurden für rotes, gelbes, grünes und blaues monochromatisches Licht angestellt. Für die letzten drei Lichtarten bot die Quarzglasquecksilberlampe von Heraeus eine bequeme Quelle. Als Filter dienten dabei für das gelbe Licht Jodeosinlösung, für grünes Licht Didymchlorür, beide in konzentrierter wässriger Lösung und mit etwas Kaliumbichromat versetzt, für blaues Licht eine verdünnte wässrige Lösung von reinem Methylviolett. Rotes Licht lieferte der durch einen Transformator auf hohe Spannung gebrachte Strom einer Wechselstrommaschine bei seinem Übergange zwischen zwei etwa 5 mm von einander entfernten Kadmiumelektroden. Parallel zu der Funkenstrecke waren 15 Leydener Flaschen geschaltet. Mittels eines roten Filters der Neuen Photographischen Gesellschaft Steglitz-Berlin wurde das rote Licht aus dem sehr hellen Kadmiumfunken entnommen und durch ein System von Linsen auf den Spalt S konzentriert.

Die spektralanalytische Untersuchung ergab, dass bei dem Quecksilberlicht ausser der verwendeten Lichtart alle Linien des Spektrums merklich durch die Filter absorbiert wurden, während bei dem Kadmiumlicht ausser der roten Linie Cd 1 noch einige schwächere Luftlinien auftraten, die sich nicht beseitigen liessen.

Das Untersuchungsmaterial.

Bevor ich zur Untersuchung von Methan und Aethylen schritt, bestimmte ich die schon vielfach untersuchte Dispersion der Luft noch einmal, um die Handhabung des Apparates kennen zu lernen.

Die Luft wurde im Garten des Instituts in einer Saletschen Pipette aufgefangen, nachdem sie durch eine Trockenflasche mit konzentrierter Schwefelsäure und ein Phosphorpentoxydrohr vom Wasserdampf und durch ein mit Natronkalk gefülltes Rohr von der Kohlensäure sorgfältig befreit worden war.

Zur Darstellung von Methan wurde eine Methode von Ziegler[1]) gewählt, weil sie am meisten eine hohe Reinheit des gewonnenen Produktes zu gewährleisten schien.

Inbezug auf die Einzelheiten der Darstellung und des Entwicklungsapparates verweise ich auf die Arbeit von Ziegler und begnüge mich hier mit einer kurzen Charakterisierung des Verfahrens. Es beruht auf der Umsetzung von Quecksilbermethyl mit konzentrierter Schwefelsäure:

$$Hg(CH_3)_2 + H_2SO_4 = 2\,CH_4 + HgSO_4.$$

Da das Quecksilberpräparat zu kostbar ist, um das Gas in solchen Mengen zu entwickeln, dass man die Luft aus dem Apparat durch das entwickelte Gas selbst verdrängen könnte, so muss die Darstellung in einer Atmosphäre von reiner Kohlensäure vorgenommen werden. Das Gas wird mit rauchender Schwefelsäure und Wasser gewaschen und gelangt sodann in ein mit Kalilauge gefülltes Sammelgefäss, wo es von der Kohlensäure wieder befreit wird.

Selbstverständlich wurde das Gas, das ja mit Feuchtigkeit gesättigt war, bevor es in den Untersuchungsapparat, beziehungsweise in die Pipette P_1 eingelassen wurde, durch ein an das Sammelgefäss und das Ansatzrohr B (s. Fig. 1) des Apparates angeblasenes System von Trockenröhren sorgfältig getrocknet.

1) E. Ziegler, Diss. Halle, 1904.

Auf diese Weise habe ich ein chemisch merklich reines Gas erhalten, wie die nachfolgende mit dem Apparat von Hempel zur exakten Gasanalyse[1]) vorgenommene Analyse beweist.

Die Gasprobe wurde der Pipette mit Hilfe der Sprengelpumpe entnommen, in die Messkugel des Hempelschen Apparates übergeführt und ihr Druck gemessen. Nach dem Hinzufügen einer genügenden Menge reinen Sauerstoffs, der durch Erhitzen von Kaliumchlorat gewonnen und mit pyrogallussaurem Kalium auf Reinheit geprüft worden war, wurde der Druck wiederum bestimmt und darauf das Gasgemisch in einer Explosionspipette durch den Funken eines Induktoriums verbrannt. Sodann wurde der Druck des erhaltenen Gemisches von Kohlensäure und überschüssigem Sauerstoff gemessen, die Kohlensäure in einer Kalilaugenpipette absorbiert, der Druck des übrigbleibenden Sauerstoffs bestimmt und dieser endlich zur Kontrolle durch pyrogallussaures Kalium absorbiert. Bezüglich der Einzelheiten der Analyse kann ich auf die Dissertation von Ziegler sowie das zitierte Buch von Hempel verweisen. Es folge hier nur noch das Resultat der Analyse. In der Tabelle bedeutet b den Barometerstand, p den am Hempelschen Apparat abgelesenen Druck, w die Tension des Wasserdampfes, die zu berücksichtigen ist, da die Gase bei der Messung mit Wasserdampf gesättigt waren. Indem man p und w von b subtrahiert, erhält man den gesuchten Druck π des Gases.

Tabelle I.

	b	p	w	π
Methan	755,68	627,77	10,71	117,20
Methan + Sauerstoff	755,44	325,86	10,77	418,81
Kohlensäure + Sauerstoff	755,38	560,31	10,77	184,30
Sauerstoff	755,57	677,89	10,82	66,86

1) Vgl. W. Hempel, gasanalyt. Methoden. 3. Aufl.

Hiernach verbrauchte 1 Volumen Methan bei der Verbrennung 2,003 Volumina Sauerstoff und lieferte 1,002 Volumina Kohlensäure. Es verhält sich also das Volumen des verwendeten Methans zum Volumen des verbrauchten Sauerstoffs zum Volumen der gebildeten Kohlensäure wie 1 : 2,003 : 1,002, also nahezu wie 1 : 2 : 1, wie es gemäss der Gleichung

$$CH_4 + 2\,O_2 = CO_2 + 2\,H_2O$$

bei strenger Gültigkeit von Boyles Gesetz, für absolut reines Gas und bei vollkommener Exaktheit in der Ausführung der Analyse sein müsste.

Zur Darstellung von reinem Aethylen wählte ich eine Methode, wie sie zuerst von G. S. Newth[1]) angegeben worden ist. Während man nach dem gewöhnlichen Verfahren konzentrierte Schwefelsäure auf Äthylalkohol wirken lässt, ersetzt Newth die Schwefelsäure durch Phosphorsäure. Man vermeidet auf diese Weise das Verkohlen und Schäumen der Flüssigkeit und erhält ein Gas, welches frei ist von den Verunreinigungen des auf gewöhnliche Art dargestellten, Kohlensäure und Schwefeldioxyd. Im einzelnen wurde folgendermassen verfahren:

In einer etwa 180 ccm fassenden Wurtzschen Flasche wurden 50—60 ccm Phosphorsäure von Sirupkonsistenz (spez. Gew. 1,75) mittels eines Bades von flüssigem Paraffin auf 200° erhitzt. Mit Hilfe eines Tropftrichters, der fast bis auf den Boden des Gefässes reichte und unten zu einer Spitze ausgezogen war, wurde sodann der Alkohol hinzugegeben. Die Temperatur schwankte bei der Entwicklung zwischen 200° und 220°. Das entstandene Gas wurde nunmehr durch ein in Eis gekühltes kleines Gefäss von etwa 120 ccm Rauminhalt geleitet, in welchem sich eine kleine Menge Flüssigkeit ansammelte, nach Newth bestehend aus Äther, unzersetztem Alkohol und Spuren einer öligen Flüssigkeit. Da der Tropftrichter in der Wurtzschen Flasche eingeschmolzen und auch

1) Journal of the Chemical Society, LXXIX, II, S. 915, 1901.

das mit Eis gekühlte Gefäss direkt an das Entwicklungsgefäss angeblasen war, enthielt der ganze Apparat keine Gummiverbindungen. Das nach vierstündiger Entwicklung über Quecksilber aufgefangene Gas war in der Tat merklich rein. Bei der Absorption durch rauchende Schwefelsäure in einer Hempelschen Pipette blieb zwar ein unbedeutender Gasrest übrig, der auch bei sorgfältigster Wiederholung der Darstellung nicht verschwand und wegen seiner geringen Grösse nicht identifiziert werden konnte; aber dieser stellte wahrscheinlich das bei der Absorption von der rauchenden Schwefelsäure und dem Aethylen gewöhnlich in kleiner Menge gebildete Schwefeldioxyd dar,[1]) bildete also keine Verunreinigung des Gases. Selbst wenn dies jedoch der Fall war, dürfte er sich vor dem Eintritt des Gases in den Apparat an den kalten Silberspähnen kondensiert haben und würde auch ohnedies auf das Resultat meiner Untersuchung nur von sehr geringem Einfluss gewesen sein.

Ableitung der Formeln.

Wie Biot und Arago[2]) zuerst gefunden haben, ist das spezifische Brechungsvermögen eines Gases eine Konstante. Zwischen dem Brechungskoeffizienten n und der Dichte d besteht also die Gleichung:

$$\frac{n-1}{d} = \text{const.}$$

Bezeichnet man mit n_0 den Brechungsexponenten bei der Normaldichte d_0, so folgt:

$$\frac{n-1}{d} = \frac{n_0-1}{d_0}$$

---

1) Vgl. W. Hempel, gasanalyt. Methoden, 3. Aufl., S. 204.

2) Mém. de l'Acad. de France, T. VII, 1806. Gilb. Ann. Bd. XXV und XXVI, 1807.

oder

$$n_0 - 1 = (n - 1)\frac{d_0}{d}$$

Nun ist, wenn p den Druck, t die Temperatur und α den Ausdehnungskoeffizienten des Gases bedeutet,

$$\frac{d_0}{d} = \frac{760}{p}(1 + \alpha t).$$

Folglich:

$$n_0 - 1 = (n - 1)\frac{760}{p}(1 + \alpha t).$$

Es sei nun das eine Rohr (R_2) evakuiert, während das andere allmählich mit Gas gefüllt wird. Die Anzahl der dann durch das Gesichtsfeld wandernden Fransen sei f. Dann ist, da jedesmal, wenn die Anzahl der Wellenlängen in dem Rohre R_1 um eins zugenommen hat, ein Streifen durch den nächstfolgenden ersetzt wird, die Zahl der vorübergewanderten Streifen gleich der Differenz der Anzahl der Wellenlängen in den beiden Röhren. Also:

$$\frac{L}{\lambda} - \frac{L}{\lambda_0} = f,$$

wenn L die Länge der Röhren, λ die Wellenlänge im Gase, λ_0 die im Vakuum bedeutet. Daraus folgt:

$$L\left(\frac{\lambda_0}{\lambda} - \frac{\lambda_0}{\lambda_0}\right) = f \cdot \lambda_0$$

oder, da

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = n$$

der Brechungsexponent gegen das Vakuum ist,

$$L(n - 1) = f \cdot \lambda_0$$

$$n - 1 = \frac{f \cdot \lambda_0}{L}$$

Setzen wir diesen Wert in die obige Gleichung ein, so ergibt sich die Formel zur Bestimmung des Brechungsvermögens gegen das Vakuum bei 0^0 und 760 mm Druck:

$$n_0 - 1 = \frac{f \cdot \lambda_0 \cdot 760 \cdot (1 + \alpha t)}{p \cdot L} \qquad \text{I}$$

Das Verhältnis $\frac{f}{p}$ wird experimentell bestimmt.

Aus dieser Formel folgt leicht eine andere zur Bestimmung des Verhältnisses der Brechungsvermögen zweier Gase. Aus

$$n_0 - 1 = \frac{f \cdot \lambda_0 \cdot 760 \cdot (1 + \alpha t)}{p \cdot L}$$

und

$$n_0' - 1 = \frac{f' \cdot \lambda_0 \cdot 760 \cdot (1 + \alpha t')}{p' \cdot L}$$

ergibt sich nämlich, wenn man

$$f = f'$$

macht, was bei der unten zu beschreibenden zweiten Methode der Untersuchung geschieht,

$$\frac{n_0 - 1}{n_0' - 1} = \frac{p' (1 + \alpha t)}{p (1 + \alpha t')} \qquad \text{II}$$

Der Gang der Untersuchungen.

Vor Beginn jeder Versuchsreihe wurde der Apparat auf Dichtigkeit geprüft, mit dem zu untersuchenden Gase gespült und evakuiert, bis die elektrische Entladung nicht mehr durch eine an den Apparat angeblasene Spektralröhre ging.

Gemäss den oben abgeleiteten beiden Formeln ergeben sich zwei Untersuchungsmethoden, die direkte Bestimmung des Brechungsvermögens gegen das Vakuum und die Bestimmung des Verhältnisses des Brechungsvermögens eines Gases zu demjenigen eines zweiten Gases; als dieses zweite Gas diente bei meinen Untersuchungen naturgemäss die Luft.

Bei dem ersten Verfahren blieb die Röhre R_2 evakuiert, während R_1 mittels des Hahnpaares H_1 langsam mit dem zu untersuchenden Gase gefüllt wurde. Dadurch trat eine Verschiebung der unteren Fransen gegen die oberen feststehenden ein, und zwar nach der Seite hin, von welcher das Gas eingelassen wurde. Jedesmal, wenn eine bestimmte Anzahl von Streifen vorübergewandert war, wurden die Manometer und Thermometer abgelesen. Das Manometer M_2 diente als Barometer. Aus der Fransenzahl und der zugehörigen Druckänderung lässt sich dann nach Formel I das Brechungsvermögen berechnen.

Bei der zweiten Methode wurde folgendermassen ververfahren: In die Röhre R_1 trat so lange Gas ein, bis einige (3—5) Fransen vorbeigewandert waren. Darauf wurde in die andere Röhre R_2 so viel Luft eingelassen, dass eine ebenso grosse Anzahl von Fransen wie vorher nach der entgegengesetzten Seite vorüberging, dass also die Fransenverschiebung von vorher vollständig kompensiert wurde. Dies Verfahren wurde so lange fortgesetzt, bis eine angemessene Druckänderung erfolgt war. Aus den Druckunterschieden p und p′ und dem Brechungsvermögen $(n'_0 - 1)$ der Luft bei der betreffenden Wellenlänge kann dann nach Formel II das Brechungsvermögen des Gases gefunden werden.

Diese zweite Methode ist an sich etwas ungenauer als die erste, weil sie die Rechnung auf nur wenige Ablesungen stützt, während bei dem ersten Verfahren die Möglichkeit der Mittelbildung aus einer grösseren Anzahl von Ablesungen eine verhältnismässig grosse Exaktheit verbürgt. Indessen

ist diese Methode da am Platze, wo man wegen unvollkommener Homogenität des Lichtes zu keiner grossen Fransenverschiebung gelangt, weil die Streifen bald verwaschen werden. Dieser Fall trat ein bei dem roten Kadmiumlicht.

Die Ergebnisse.

Die folgenden Tabellen enthalten die Resultate meiner Untersuchungen. f bedeutet die Anzahl der vorübergewanderten Streifen, m den zugehörigen Druck, auf 0^0 C, 45^0 Breite und Meeresniveau reduziert. Die dritte Kolumne deutet die Art an, wie die Ablesungen kombiniert wurden; die letzte endlich gibt die Zunahme des Gasdruckes für eine vorübergewanderte Franse.

Luft.

Das Brechungsvermögen der Luft ist nur gegen das Vakuum bestimmt worden.

Tabelle II.

$\lambda_0 = \left.\begin{matrix}0{,}579\\0{,}577\end{matrix}\right\} \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0587$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	749,57	0—30	5,304
10	696,45	10—40	5,305
20	643,43		
30	590,46	20—50	5,308
40	537,30	Mittel:	5,306
50	484,19		

$n_0 - 1 = 0{,}00029185$

Tabelle III.

$\lambda_0 = \left.\begin{matrix}0{,}579\\0{,}577\end{matrix}\right\} \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0596$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	744,56	0—30	5,316
10	691,06	10—40	5,310
20	638,15		
30	585,08	20—50	5,309
40	531,77	Mittel:	5,312
50	478,87		

$n_0 - 1 = 0{,}00029176$

Tabelle IV.

$\lambda_0 = 0{,}5461\ \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0607$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	758,88	0—30	5,016
10	708,87	10—40	5,015
20	658,67		
30	608,41	20—50	5,015
40	558,42	Mittel:	5,015
50	508,23		

$n_0 - 1 = 0{,}00029229$

Tabelle V.

$\lambda_0 = 0{,}5461\ \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0577$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	750,92	0—30	5,002
10	700,82	10—40	5,003
20	650,82		
30	600,86	20—50	4,997
40	550,74	Mittel:	5,001
50	500,90		

$n_0 - 1 = 0{,}00029228$

Tabelle VI.

$\lambda_0 = 0{,}4359\ \mu$ $\quad 1 + \alpha t = 1{,}0558$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	747,05	0—30	3,940
10	707,71	10—40	3,956
20	668,39		
30	628,86	20—50	3,945
40	589,04	Mittel:	3,947
50	550,03		

$n_0 - 1 = 0{,}00029506$

Tabelle VII.

$\lambda_0 = 0{,}4359\ \mu$ $\quad 1 + \alpha t = 1{,}0573$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	746,81	0—30	3,963
10	707,67	10—40	3,955
20	667,76		
30	627,93	20—50	3,938
40	589,01	Mittel:	3,952
50	549,62		

$n_0 - 1 = 0{,}00029511$

Folgende Übersicht gibt die Mittel aus diesen Resultaten unter Streichung der unsicheren achten Dezimale:

Tabelle VIII.

λ_0 (in μ)	$n_0 - 1$
0,579 0,577	0,0002918
0,5461	0,0002923
0,4359	0,0002951

Methan.

Für rotes Licht wurde aus dem oben angeführten Grunde die zweite Beobachtungsmethode gewählt. Als Brechungsvermögen der Luft für diese Wellenlänge wurde dabei der von Scheel[1]) gefundene Wert 0,0002909 angenommen, da meine Bestimmungen des Brechungsvermögens der Luft bei den anderen verwendeten Lichtarten mit denen von Scheel am besten übereinstimmen.

Tabelle IX.

$\lambda_0 = 0{,}6439\ \mu$

	p	$1 + \alpha t$
Methan	193,42	1,0506
Luft	291,79	1,0508

$n_0 - 1 = 0{,}00043876$

Tabelle X.

$\lambda_0 = 0{,}6439\ \mu$

	p	$1 + \alpha t$
Methan	197,05	1,0493
Luft	297,23	1,0496

$n_0 - 1 = 0{,}00043867$

Tabelle XI.

$\lambda_0 = 0{,}6439\ \mu$

	p	$1 + \alpha t$
Methan	193,44	1,0493
Luft	291,84	1,0496

$n_0 - 1 = 0{,}00043875$

Tabelle XII.

$\lambda_0 = 0{,}6439\ \mu$

	p	$1 + \alpha t$
Methan	200,33	1,0494
Luft	302,10	1,0497

$n_0 - 1 = 0{,}00043855$

1) Verh. der Deutsch. Phys. Gesellschaft, Bd. 9, S. 24, 1907.

Tabelle XIII.

$\lambda_0 = \left.\begin{matrix}0{,}579\\0{,}577\end{matrix}\right\}\mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0573$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	763,58	0—30	3,477
10	729,10	10—40	3,507
20	694,55		
30	659,27	20—50	3,514
40	623,89	Mittel:	3,499
50	589,13		

$n_0 - 1 = 0{,}00044197$

Tabelle XIV.

$\lambda_0 = \left.\begin{matrix}0{,}579\\0{,}577\end{matrix}\right\}\mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0557$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	760,16	0—30	3,499
10	725,60	10—40	3,491
20	690,67		
30	655,19	20—50	3,495
40	620,88	Mittel:	3,495
50	585,83		

$n_0 - 1 = 0{,}00044181$

Tabelle XV.

$\lambda_0 = 0{,}5461\ \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0551$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	756,95	0—30	3,294
10	724,30	10—40	3,284
20	691,30		
30	658,13	20—50	3,286
40	625,78	Mittel:	3,288
50	592,72		

$n_0 - 1 = 0{,}00044345$

Tabelle XVI.

$\lambda_0 = 0{,}5461\ \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0502$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	759,85	0 – 30	3,267
10	727,29	10—40	3,274
20	694,49		
30	661,83	20—50	3,275
40	629,08	Mittel:	3,272
50	596,24		

$n_0 - 1 = 0{,}00044355$

Tabelle XVII.

$\lambda_0 = 0{,}4359\ \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0536$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	760,32	0—30	2,583
10	734,35	10—40	2,574
20	708,59		
30	682,82	20—50	2,584
40	657,12	Mittel:	2,580
50	631,08		

$n_0 - 1 = 0{,}00045046$

Tabelle XVIII.

$\lambda_0 = 0{,}4359\ \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0511$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	711,00	0—30	2,580
10	685,04	10—40	2,569
20	659,14		
30	633,59	20—50	2,572
40	607,96	Mittel:	2,574
50	581,99		

$n_0 - 1 = 0{,}00045044$

Die nächste Tabelle enthält eine Zusammenstellung der für Methan gefundenen Werte:

Tabelle XIX.

	λ_0 (in μ)	$n_0 - 1$
a)	0,6439	0,0004387
b)	0,579 0,577	0,0004419
c)	0,5461	0,0004435
d)	0,4359	0,0004505

Aethylen.

Ausser für rotes Licht wurden hier auch für das blaue Licht zur Kontrolle einige Versuche nach der zweiten Methode ausgeführt. Als Brechungsvermögen der Luft wurde dabei ebenfalls der von Scheel gefundene Wert 0,0002954 eingeführt.

Tabelle XX.

$\lambda_0 = 0{,}6439\ \mu$

	p	$1 + \alpha t$
Aethylen	19,20	1,0638
Luft	47,12	1,0649

$n_0 - 1 = 0{,}00071318$

Tabelle XXI.

$\lambda_0 = 0{,}6439\ \mu$

	p	$1 + \alpha t$
Aethylen	49,60	1,0620
Luft	121,55	1,0617

$n_0 - 1 = 0{,}00071308$

Tabelle XXII.

$\lambda_0 = \left.\begin{matrix}0{,}579\\0{,}577\end{matrix}\right\}\mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0645$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	754,35	0 - 40	2,167
10	732,96	10 – 50	2,177
20	711,48		
30	689,42	20—60	2,179
40	667,67		
50	645,88	30 – 70	2,166
60	624,34	Mittel:	2,172
70	602,79		

$n_0 - 1 = 0{,}00071685$

Tabelle XXIII.

$\lambda_0 = \left.\begin{matrix}0{,}579\\0{,}577\end{matrix}\right\}\mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0641$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	733,16	0—40	2,172
10	711,78	10 – 50	2,179
20	690,01	20—60	2,166
30	668,17	30— 0	2,166
40	646,28	Mittel:	2,171
50	624,64		
60	603,37		

$n_0 - 1 = 0{,}00071691$

Tabelle XXIV.

$\lambda_0 = 0{,}5461\ \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0639$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	750,86	0 – 30	2,043
10	730,37	10—40	2,044
20	709,91		
30	685,47	20—50	2,037
40	669,06	Mittel:	2,041
50	648,79		

$n_0 - 1 = 0{,}00072035$

Tabelle XXV.

$\lambda_0 = 0{,}5461\ \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0643$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	750,74	0—30	2,035
10	730,23	10—40	2,039
20	710,19		
30	689,70	20—50	2,053
40	669,06	Mittel:	2,042
50	648,60		

$n_0 - 1 = 0{,}00072027$

Tabelle XXVI.

$\lambda_0 = 0{,}4359\ \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0635$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	719,25	0—30	1,585
10	703,26	10—40	1,584
20	687,48		
30	671,71	20—50	1,592
40	655,73	Mittel:	1,587
50	639,71		

$n_0 - 1 = 0{,}00073920$

Tabelle XXVII.

$\lambda_0 = 0{,}4359\ \mu$ $\qquad 1 + \alpha t = 1{,}0654$

f	m		$\frac{p}{f}$
0	708,29	0—30	1,601
10	692,01	10—40	1,587
20	675,94		
30	660,27	20—50	1,580
40	644,39	Mittel:	1,589
50	628,53		

$n_0 - 1 = 0{,}00073959$

Tabelle XXVIII.

$\lambda_0 = 0{,}4359\ \mu$

	p	$1 + \alpha t$
Aethylen	117,25	1,0613
Luft	293,41	1,0613

$n_0 - 1 = 0{,}00073922$

Tabelle XXIX.

$\lambda_0 = 0{,}4359\ \mu$

	p	$1 + \alpha t$
Aethylen	119,68	1,0613
Luft	299,89	1,0617

$n_0 - 1 = 0{,}00073992$

Die folgende Tabelle enthält wieder eine Zusammenstellung der für Aethylen gefundenen Resultate:

Tabelle XXX.

	λ_0 (in μ)	$n_0 - 1$
a)	0,6439	0,0007131
b)	0,579 0,577	0,0007169
c)	0,5461	0,0007203
d)	0,4359	0,0007394

Die für Methan und Aethylen ermittelten Werte des Brechungsvermögens finden sich graphisch dargestellt in Figur 2, zu deren Erläuterung noch folgendes gesagt sei: Die Abscissen geben die Wellenlängen in μ an, die Ordinaten das Brechungsvermögen $(n_0 - 1)$ in 10^{-6}, und zwar gelten die links verzeichneten Ordinaten für Aethylen, die rechts stehenden für Methan.

Die Kurven zeigen einen kontinuierlichen Verlauf.

Vergleich der Ergebnisse mit anderen Beobachtungen.

Was zunächst meine Untersuchung der Luft betrifft, so stimmen ihre Resultate mit denen anderer Beobachter, besonders mit denen von Scheel[1]) und Ahrberg,[2]) gut überein, sowohl dem Absolutwerte des Brechungsexponenten nach als auch inbezug auf die Dispersion:

Tabelle XXXI.

λ_0 (in μ)	Scheel	Ahrberg	Kessler
0,6439	0,0002909	0,0002911	—
0,579 / 0,577	0,0002918	0,0002919	0,0002918
0,5461	0,0002924	0,0002925	0,0002923
0,4359	0,0002954	0,0002957	0,0002951

Über Methan und Aethylen lagen zu Beginn meiner Arbeit nur Untersuchungen der Refraktion, nicht der Dispersion vor. Sie stammen von Dulong[3]) und Mascart.[4]) Während meine Versuche im Gange waren, erschienen dann aber zwei Abhandlungen über die Dispersion des Lichtes in Acetylen, Methan, Aethylen und Aethan von Stanislaus Loria.[5])

Dulong machte seine Beobachtungen bei weissem Licht. Er fand für Methan als brechende Kraft bei 0^0 und 760 mm Druck den Wert

0,000443.

Mascart benutzte Natriumlicht. Er fand, indem er das Brechungsvermögen der Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck gleich eins setzte, für Methan 1,51. Als

1) Scheel, Verh. der Deutsch. Phys. Gesellschaft, Bd. 9, S. 21, 1907.
2) F. Ahrberg, Diss. Halle, 1909.
3) Dulong, Ann. de Chim. et de Phys, vol. 31, 1826.
4) Mascart, Compt. rend. 86, 321 und 1182, 1878.
5) Loria, Bulletin de l'Acad. des Sciences de Cracovie, Classe des Sciences mathém. et natur., Déc. 1908, Févr. 1909.

Absolutwert des Brechungsvermögens der Luft für die D-Linie bei 0^0 und Atmosphärendruck ermittelte er den Wert 0,0002927, unter dessen Benutzung sich also für Methan der Absolutwert

0,0004420

ergibt.[1]) Loria endlich bestimmte auch die Dispersion. Seine Resultate für Methan sind in folgender Tabelle zusammengestellt, die ich der zitierten Arbeit entnehme:

Tabelle XXXII.

λ_0 (in μ)	$n_0 - 1$
0,6585	0,0004404
0,6375	0,0004411
0,5935	0,0004435
0,5718	0,0004454
0,5290	0,0004478

Wenn man der besseren Übersichtlichkeit wegen annimmt, dass weisses Licht der Wellenlänge 0,550 μ entspricht, und wenn man ferner die Werte des Brechungsvermögens für diese Wellenlänge und für die Natriumlinie aus den Beobachtungen Lorias sowie aus meinen Resultaten durch graphische Interpolation ermittelt, so ergibt sich die folgende Übersicht:

Tabelle XXXIII.

λ_0	Dulong	Mascart	Loria	Kessler
0,550	0,000443	—	0,0004466	0,0004433
0,5893	—	0,0004420	0,0004439	0,0004413

Für Aethylen fand Dulong bei weissem Licht

0,000678;

Mascart bei Natriumlicht, bezogen auf Luft, 2,46, woraus

1) Vergl. auch J. Kanonnikoff, Untersuchungen über das Lichtbrechungsvermögen chemischer Verbindungen, Journ. für prakt. Chem., II, Bd. 31, S. 361, 1885.

sich als Absolutwert

0,0007200

ergibt.[1]) Loria erzielte folgende Resultate:

Tabelle XXXIV.

λ_0 (in μ)	$n_0 - 1$
0,6677	0,0006516
0,6185	0,0006531
0,5896	0,0006571
0,5790	0,0006588
0,5461	0,0006614
0,5230	0,0006620

Wie oben ergibt sich hier folgende Zusammenfassung:

Tabelle XXXV.

λ_0	Dulong	Mascart	Loria	Kessler
0,550	0,000678	—	0,0006612	0,0007198
0,5893	—	0,0007200	0,0006571	0,0007160

Während, wie man sieht, die verschiedenen Beobachtungen für Methan leidlich übereinstimmende Werte ergeben, sind die Differenzen bei Aethylen sehr gross. Die von Loria ermittelten Werte nähern sich dem Resultate Dulongs; meine Ergebnisse (vgl. auch Tabelle XXX) stimmen nahe mit dem von Mascart überein. Den Grund für dieses Verhalten konnte ich nicht feststellen: Die Reinheit der von mir untersuchten Gase ist durch die Analysen sichergestellt; und dafür, dass keine methodischen Fehler vorliegen, bürgt die gute Uebereinstimmung der für Luft gefundenen Resultate mit denen anderer Beobachter.

1) S. Anm. S. 28.

Theoretische Folgerungen.

Neuerdings hat L. Natanson[1]) aus der elektromagnetischen Theorie der Dispersion eine Gleichung hergeleitet, die es gestattet, auf Grund experimenteller Untersuchungen wichtige theoretische Fragen zu erörtern. Diese Beziehung lautet:

$$A = \frac{3(n_1 - n_2)\lambda_1^2\lambda_2^2}{2(n_1 - 1)(n_2 - 1)(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)}$$

Dabei bedeuten λ_1 und λ_2 zwei Wellenlängen und n_1 und n_2 die zugehörigen Brechungsindices. A ist im ganzen Spektralgebiet (wenigstens, wenn dieses fern von Absorptionsstreifen liegt), eine nur von der Natur des untersuchten Körpers abhängige Konstante von der Grössenordnung 10^{-7} cm².

Die Gleichung gilt bloss für Körper, die nur eine einzige Gattung beweglicher Elektronen besitzen, für monoelektronische Substanzen.

Natanson bezeichnet nun ferner die Anzahl der ‚Dispersionselektronen' pro Molekül, d. h. ‚der Elektronen, welche in einem gegebenen Spektralbezirke vorzüglich dazu beitragen, die brechende Kraft des Mediums zu ändern', mit a und erhält die Beziehung

$$a A = C,$$

wo C eine von der Natur der Substanz unabhängige universelle Konstante sein soll.

Die Ergebnisse seiner numerischen Berechnungen führen nun Natanson zu einer schon von Drude[2]) diskutierten Hypothese, nach welcher die Menge der Dispersionselektronen in einem Molekül gegeben ist durch die Gesamtzahl (v) der Valenzen oder Bindungen, durch welche die Atome eines Moleküls zusammengehalten werden. Natanson bezeichnet übrigens diese Annahme ausdrücklich als anfechtbar.

1) Bull. Int. de l'Acad. des Sciences de Cracovie, 1907, S. 316.
2) Annalen der Physik, Bd. 14, S. 677, 1904.

Er erlangt aber mit ihr gute Resultate für die Gase H_2, O_2, Luft, CO, CO_2, NH_3, CS_2, SO_2, indem für diese der Wert

$$v\,\Delta$$

nahe um $16{,}3 \cdot 10^{-7}$ cm² herumschwankt.

Was nun das Methan und Aethylen betrifft, so ergibt sich zunächst, dass im sichtbaren Spektrum Δ konstant ist, die Gase also als monoelektronisch anzusehen sind. Wir erhalten

für Methan nach Tabelle XIX

aus a) und d) . . . $\Delta = 3{,}14 \cdot 10^{-7}$ cm²
aus b) und c) . . . $\Delta = 3{,}40 \cdot 10^{-7}$ cm²
Mittel . . . $\Delta = 3{,}27 \cdot 10^{-7}$ cm²

für Aethylen nach Tabelle XXX

aus a) und d) . . . $\Delta = 2{,}62 \cdot 10^{-7}$ cm²
aus b) und c) . . . $\Delta = 2{,}74 \cdot 10^{-7}$ cm²
Mittel . . . $\Delta = 2{,}68 \cdot 10^{-7}$ cm²

Indessen trifft die Annahme

$$a = v$$

für diese Gase nicht mehr zu: Da nämlich die Anzahl der chemischen Valenzen für Methan 8, für Aethylen 12 ist, so ergibt sich

für Methan: $v \cdot \Delta = 26{,}16 \cdot 10^{-7}$ cm²,
für Aethylen: $v \cdot \Delta = 32{,}16 \cdot 10^{-7}$ cm²,

während die von Natanson gefundene Konstante $a\Delta$ ungefähr $16{,}3 \cdot 10^{-7}$ cm² war.

Zu diesem selben Resultat gelangt übrigens auch Loria in der oben zitierten Abhandlung.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden von Oktober 1908 bis Juli 1909 im physikalischen Institut der Universität Halle durchgeführt.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit und die stete liebenswürdige Anteilnahme und Unterstützung bei ihrer Ausführung meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Geboren bin ich, Robert Gustav Wilhelm Kessler, am 18. Februar 1888 zu Marienwerder in Westpreussen als Sohn des Katasterkontrolleurs Robert Kessler (†) und dessen Ehefrau Eugenie geb. Schneevoigt. Ich bin evangelischer Konfession und preussischer Staatsangehörigkeit.

Meine erste Schulbildung empfing ich in Burgdorf bei Hannover. Sodann besuchte ich ein Jahr lang die Vorschule und seit Ostern 1897 die Lateinische Hauptschule der Franckeschen Stiftungen zu Halle a. S., in den drei letzten Jahren, nach dem Tode meines Vaters, als Zögling der Lateinischen Waisenanstalt. Ostern 1906 verliess ich die Schule mit dem Zeugnis der Reife, um mich dem Studium der Naturwissenschaften und der Mathematik zu widmen. Meine ganze bisherige Studienzeit brachte ich an der Universität Halle-Wittenberg zu. Am 18. Oktober 1909 bestand ich die mündliche Doktorprüfung.

Im Laufe meines Studiums hörte ich folgende Herren Professoren und Dozenten:

Baumert, Berndt, Bernstein, Brandes, Buchholz, Cantor, Dorn, Ebbinghaus †, Grenacher, Gutzmer, Luedecke, Menzer, Noll †, Schmidt, S. Schultze, Taschenberg, Tubandt, Uphues, Volhard, Vorländer, Walther, Wangerin, Wüst.

Allen diesen meinen verehrten Lehrern, besonders aber Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Dorn bin ich zu grossem Danke verpflichtet.

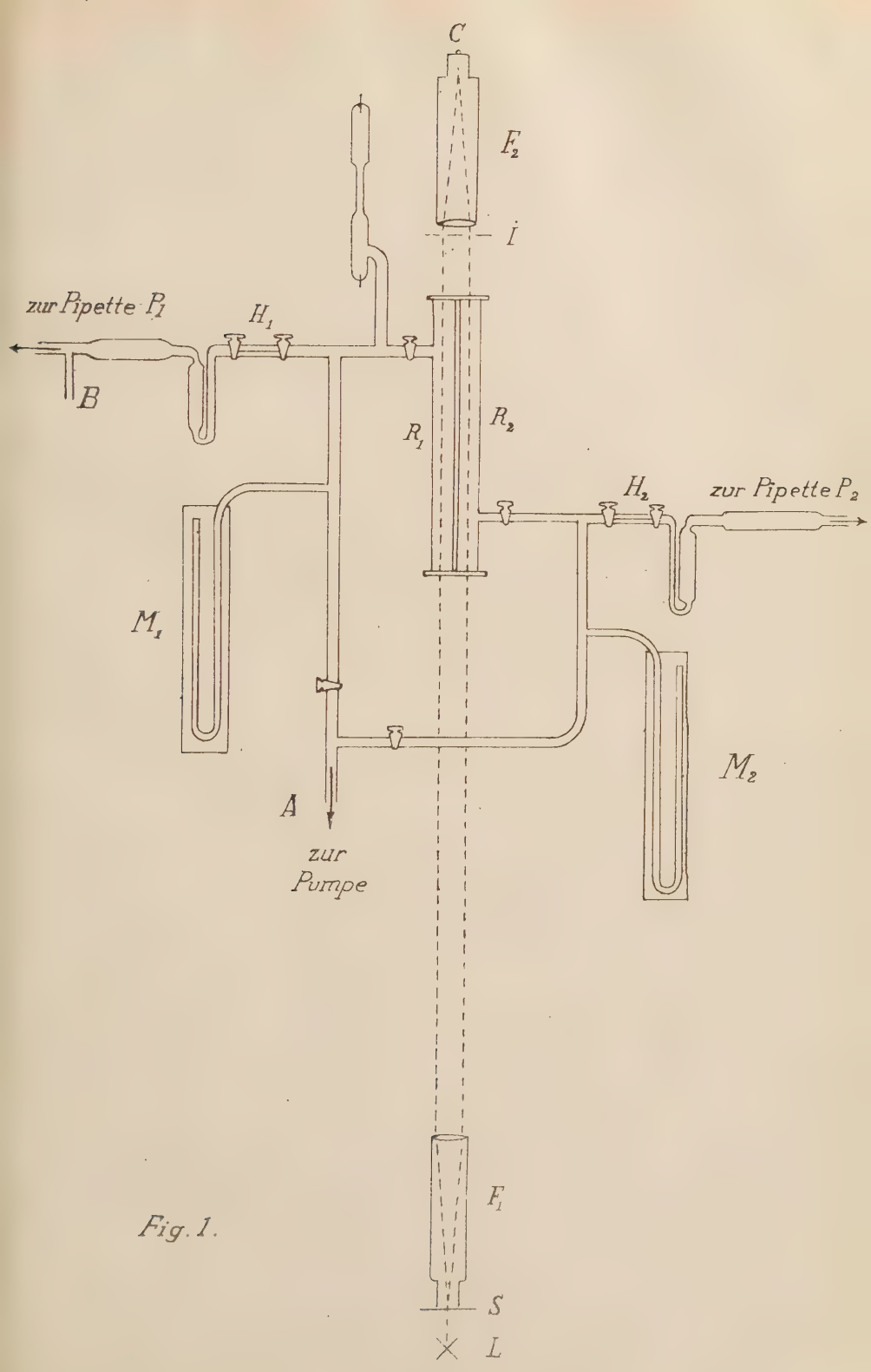
C
F_2
I
zur Pipette P_1
H_1
B
R_1
R_2
H_2
zur Pipette P_2
M_1
M_2
A
zur Pumpe
F_1
S
L

Fig. 1.

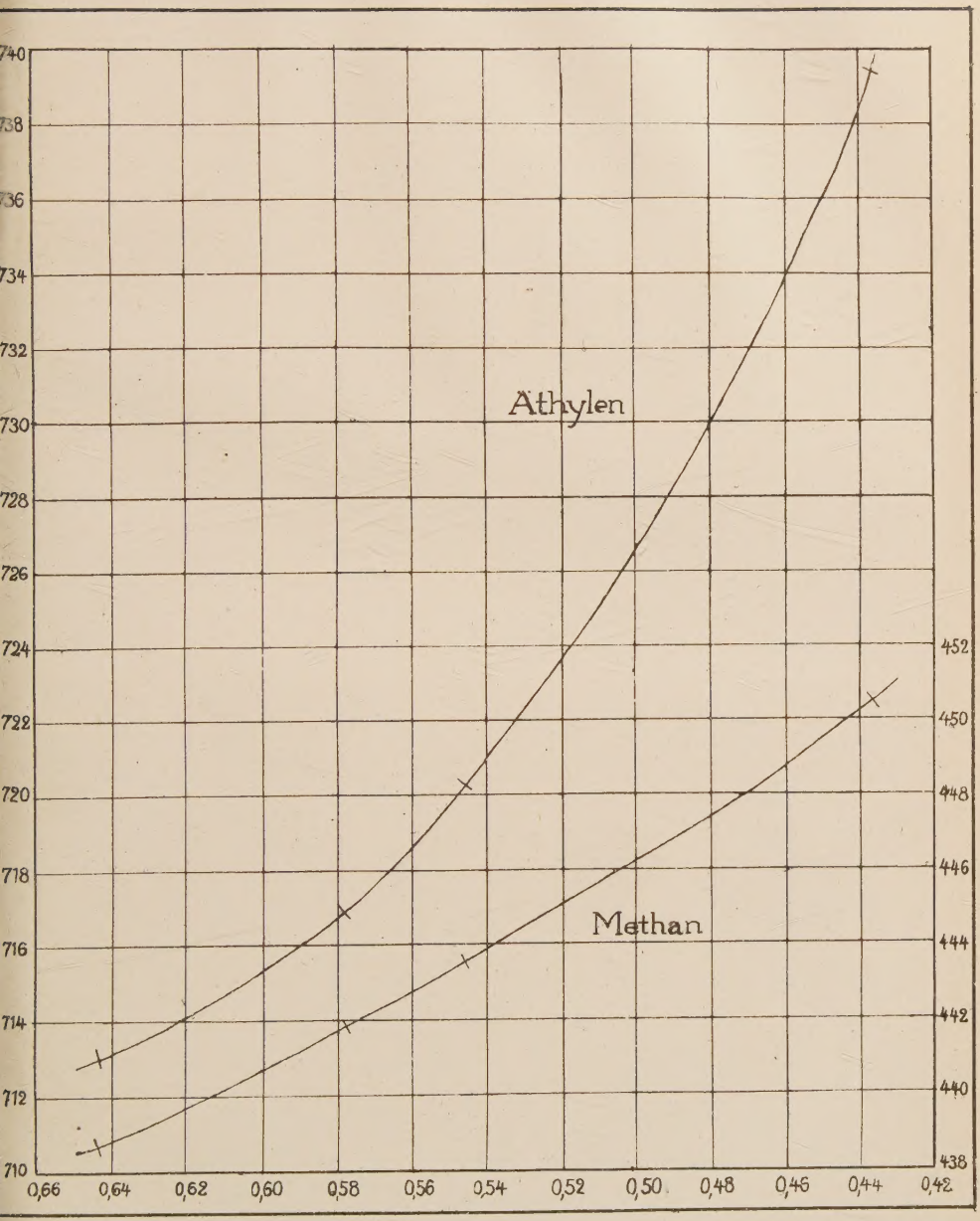
740
738
736
734
732
730
728
726
724
722
720
718
716
714
712
710
Äthylen
Methan
452
450
448
446
444
442
440
438
0,66
0,64
0,62
0,60
0,58
0,56
0,54
0,52
0,50
0,48
0,46
0,44
0,42

Fig. 2.